

b y  $A_s$  se calculan de acuerdo con F.6.2.2.1(a)

en donde:

$$k = 3 \left( \frac{I_s}{I_a} \right)^{1/3} + 1 \leq 4 \quad (\text{F.6-34})$$

$$A_s = A'_s \left( \frac{I_s}{I_a} \right) \leq A'_s \quad (\text{F.6-35})$$

**F.6.2.4.1.2 - Determinación de la deflexión** - Los anchos efectivos deben determinarse como en F.6.2.4.1(a), excepto que  $f$  se substituye por  $f_d$ .

**F.6.2.4.2 - Elementos en compresión uniforme, con un rigidizador de borde**

**F.6.2.4.2.1 - Determinación de la capacidad de carga.**

Caso I

$$\frac{w}{t} \leq \frac{S}{3} \quad (\text{F.6-36})$$

$$I_r = 0 \text{ (no se necesita rigidizador de borde)} \quad (\text{F.6-37})$$

$$b = w \quad (\text{F.6-38})$$

$$d_r = d'_s \text{ para rigidizador de pestaña sencilla} \quad (\text{F.6-39})$$

$$A_s = A'_s \text{ para otras formas de rigidizadores} \quad (\text{F.6-40})$$

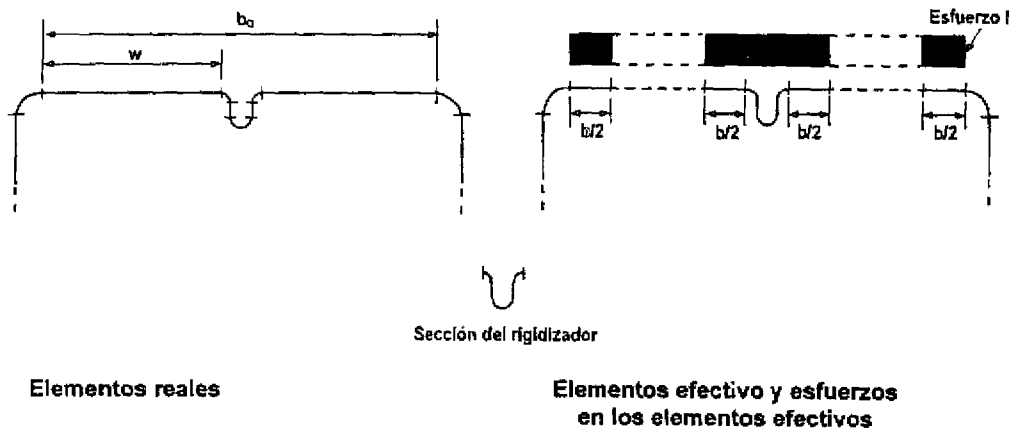
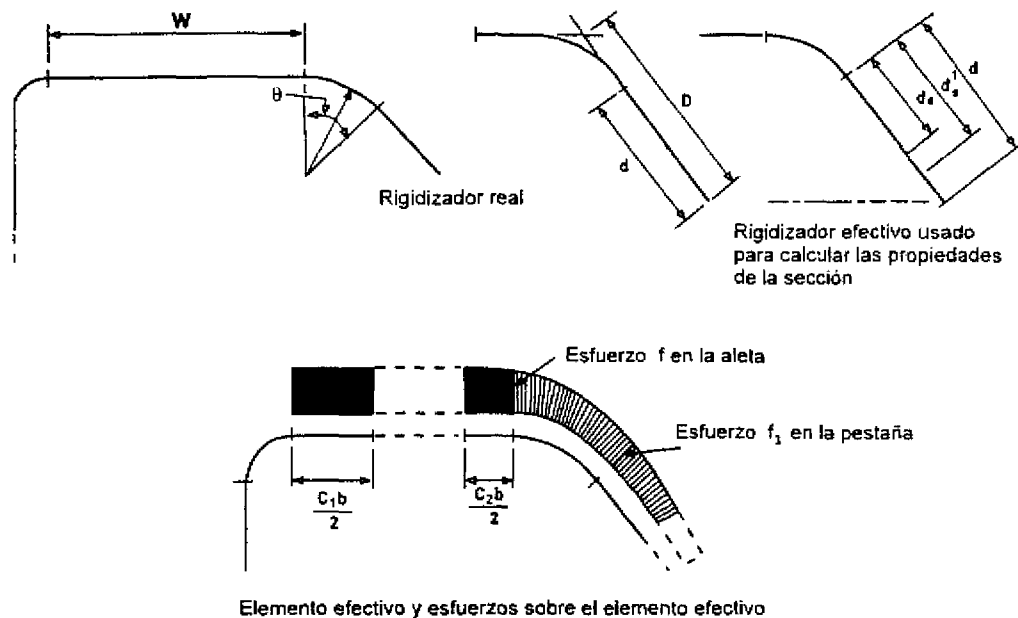


Figura F.6-4  
Elementos con rigidizador intermedio



**Figura F.6-5**  
Elementos con rigidizador de borde

**Caso II**

$$\frac{S}{3} < \frac{w}{t} < S$$

$$\frac{I_a}{t^4} = 399 \left[ \frac{(w/t)}{S} - 0.33 \right]^3 \quad (F.4-41)$$

$$n = \frac{1}{2}$$

$$C_2 = \frac{I_3}{I_a} \leq 1 \quad (F.6-42)$$

$$C_1 = 2 - C_2 \quad (F.6-43)$$

$b$  debe calcularse de acuerdo con F.6.2.2.1

en donde:

$$k = \left[ 4.82 - 5 \left( \frac{D}{w} \right) \right] \left( \frac{I_3}{I_a} \right)^n + 0.43 \leq 5.25 - 5 \left( \frac{D}{w} \right) \quad (F.6-44)$$

Para  $0.8 \geq \frac{D}{w} > 0.25$

$$k = 3.57 \left( \frac{I_3}{I_a} \right)^n + 0.43 \leq 4.0 \quad (F.6-45)$$

Para  $\frac{D}{w} \leq 0.25$

$$d_s = d'_s \left( \frac{I_s}{I_a} \right) \leq d'_s \quad (\text{F.6-46})$$

Para rigidizador de pestaña sencilla

$$A_s = A'_s \left( \frac{I_s}{I_a} \right) \leq A'_s \quad (\text{F.6-47})$$

Para otras formas de rigidizadores

**Caso III**

$$\frac{w}{t} \geq S$$

$$\frac{I_a}{t^4} = \left[ \frac{115(w/t)}{S} \right] + 5 \quad (\text{F.6-48})$$

$C_1, C_2, b, k, d_r, A_r$  Calculadas como en el caso II, con  $n=1/3$

**F.6.2.4.2.2 - Determinación de la deflexión** - Los anchos efectivos deben determinarse como en F.6.2.4.2(a) excepto que  $l$  debe substituirse por  $l_e$ .

**F.6.2.5 - ANCHOS EFECTIVOS DE ELEMENTOS CON BORDES RIGIDIZADOS Y CON RIGIDIZADORES INTERMEDIOS, O ELEMENTOS RIGIDIZADOS CON MAS DE UN RIGIDIZADOR INTERMEDIO** - Para la determinación del ancho efectivo, debe ignorarse el rigidizador intermedio para un elemento con bordes rigidizados o los rigidizadores de un elemento multirigidizado, a menos que cada rigidizador intermedio tenga un  $I_r$  mínimo de:

$$I_{mín} = \left[ 3.66t^4 \sqrt{\left( \frac{w}{t} \right)^2 - 0.136 \frac{E}{F_y}} \right] \quad (\text{F.6-49})$$

Pero no menor que  $18,4t^4$

en donde:

$w/t$  = relación ancho/espesor del subelemento rigidizado más grande

$I_r$  = momento de inercia del rigidizador completo con respecto a su propio eje centroidal, paralelo al elemento que va a rigidizar.

(a) Si el espaciamiento de rigidizadores intermedios entre dos almas es tal que para el subelemento entre rigidizadores  $b < w$ , según se determina en F.6.2.2.1, únicamente dos rigidizadores intermedios (los más cercanos a cada alma) deben considerarse efectivos.

(b) Si el espaciamiento de rigidizadores intermedios entre un alma y un rigidizador de borde es tal que para el elemento entre rigidizadores  $b < w$ , según se determina en F.6.2.2.1, únicamente un rigidizador intermedio, el más cercano al alma, debe considerarse efectivo.

(c) Si los rigidizadores intermedios están espaciados en tal forma que para los elementos entre rigidizadores  $b = w$ , según se determina en F.6.2.2.1, todos los rigidizadores pueden considerarse efectivos. Cuando se calcule la relación ancho plano a espesor del elemento completo multirigidizado, tal elemento debe considerarse reemplazado por un

"elemento equivalente" sin rigidizadores intermedios cuyo ancho,  $b_o$ , es el ancho total entre almas o del alma al rigidizador de borde, y cuyo espesor equivalente,  $t_e$ , se determina así:

$$t_e = 3 \sqrt{\frac{12 I_{yf}}{b_o}} \quad (\text{F.6-50})$$

en donde

$I_{yf}$  = momento de inercia del área completa del elemento multirigidizado, incluyendo los rigidizadores intermedios, con respecto a su eje centroidal. El momento de inercia de la sección completa debe calcularse suponiendo que el "elemento equivalente" está localizado sobre el eje centroidal del elemento multirigidizado, incluyendo los rigidizadores intermedios. La distancia real a la fibra extrema debe usarse para el cálculo del módulo de la sección

(d) Si  $w/t > 60$ , el ancho efectivo,  $b_e$ , del subelemento o elemento debe determinarse a partir de la siguiente fórmula:

$$\frac{b_e}{t} = \left( \frac{b}{t} \right) - 0.10 \left[ \frac{w}{t} - 60 \right] \quad (\text{F.6-51})$$

en donde

$w/t$  = relación ancho plano a espesor del subelemento o elemento  
 $b$  = ancho efectivo de diseño, determinado de acuerdo con lo estipulado en F.6 2 2 1  
 $b_e$  = ancho efectivo de diseño del subelemento o "elemento usado en los cálculos".

Para calcular las propiedades estructurales efectivas de un miembro que tiene subelementos o un elemento a compresión, sujeto a la reducción anterior del ancho efectivo, el área de los rigidizadores (de borde o intermedios) debe considerarse reducida a un área efectiva, así:

Para  $60 < \frac{w}{t} < 90$ ,

$$A_{ef} = \alpha A_{st} \quad (\text{F.6-52})$$

en donde,

$$\alpha = \left( 3 - \frac{2b_e}{w} \right) - \frac{1}{30} \left( 1 - \frac{b_e}{w} \right) \frac{w}{t} \quad (\text{F.6-53})$$

Para  $\frac{w}{t} \geq 90$

$$A_{ef} = \frac{b_e}{w} A_{st} \quad (\text{F.6-54})$$

En las expresiones anteriores,  $A_{ef}$  y  $A_{st}$ , se refieren únicamente al área de la sección del rigidizador, sin incluir ninguna parte de elementos adyacentes

El centroide del rigidizador debe considerarse localizado en el centroide del área completa del rigidizador, y el momento de inercia del rigidizador con respecto a su eje centroidal debe ser el de la sección completa del rigidizador

## F.6.2.6 - RIGIDIZADORES

**F.6.2.6.1 - Rigidizadores transversales** - Los rigidizadores transversales adosados a las almas de vigas en los puntos de cargas concentradas o reacciones, deben ser diseñados como miembros en compresión. Las cargas concentradas o las reacciones deben aplicarse directamente a los rigidizadores, o cada rigidizador

debe ajustarse exactamente a la porción plana de la aleta de tal manera que la carga se apoye directamente sobre el extremo del rigidizador. Se deben suministrar los medios adecuados para que la transferencia de cortante entre el rigidizador y el alma se efectúe de acuerdo con el capítulo F.6.5. Las resistencias requeridas para las cargas concentradas o las reacciones, no deben exceder la resistencia de diseño  $\phi_c P_n$ , donde  $\phi_c = 0.85$  y  $P_n$  es el menor valor dado por (a) o (b) a continuación:

$$(a) P_n = F_{wy} A_c \quad (F.6-55)$$

(b)  $P_n$  = resistencia nominal axial evaluada de acuerdo con F.6.3.4 reemplazando  $A_c$  por  $A_b$ .

en donde:

$A_c$  =  $18t^2 + A_{r1}$ , para rigidizadores transversales en apoyos intermedios y bajo carga concentrada (F.6-56)

$A_c$  =  $10t^2 + A_{r1}$ , para rigidizadores transversales en el apoyo extremo (F.6-57)

$F_{wy}$  = menor valor entre  $F_y$  del alma de la viga y el  $F_{ys}$  de la sección del rigidizador.

$A_b$  =  $b_{1t} + A_{r1}$ , para rigidizadores transversales en apoyos interiores y bajo cargas concentradas (F.6-58)

$A_b$  =  $b_{2t} + A_{r1}$ , para rigidizadores transversales en apoyos extremos (F.6-59)

$A_{r1}$  = área de la sección transversal de los rigidizadores transversales.

$$b_{1t} = 25t \left[ 0.0024 \frac{L_{st}}{t} + 0.72 \right] \leq 25t \quad (F.6-60)$$

$$b_{2t} = 12t \left[ 0.0044 \frac{L_{st}}{t} + 0.83 \right] \leq 12t \quad (F.6-61)$$

$L_{st}$  = longitud del rigidizador transversal

$t$  = espesor base del alma de la viga

La relación  $w/t$ , para elementos rigidizados y no rigidizados, de rigidizadores transversales de acero formado en frío, no debe exceder  $1.28\sqrt{E/F_{ys}}$  ni  $0.37\sqrt{E/F_{ys}}$ , respectivamente, donde  $F_{ys}$  es el esfuerzo de fluencia,  $F_y$ , y  $t$ , el espesor del rigidizador.

**F.6.2.6.2 - Rigidizadores de cortante** - En donde se requieran rigidizadores de cortante, el espaciamiento debe ser tal que la resistencia requerida a cortante no exceda la resistencia del diseño cortante,  $\phi_v V_n$ , permitida por F.6.3.3.2. y la relación  $a/h$  no sobrepase  $\left[ 260/(h/t) \right]^2$  ni 3.0.

El momento de inercia real,  $I_x$ , de un par de rigidizadores de cortante adosados, o de un rigidizador intermedio sencillo, con referencia a un eje en el plano del alma, no debe ser menor que:

$$I_{s_{min}} = 5ht^3 \left[ \frac{h}{a} - 0.7 \frac{a}{h} \right] \geq \left( \frac{h}{50} \right)^4 \quad (F.6-62)$$

El área total de los rigidizadores de cortante no debe ser menor que:

$$A_{st} = \frac{1 - C_v}{2} \left[ \frac{a}{h} - \frac{(a/h)^2}{(a/h) + \sqrt{1 + (a/h)^2}} \right] Y D h t \quad (F.6-63)$$

en donde:

$$C_v = \frac{45000k_v}{F_y (h/t)^2} \quad \text{cuando } C_v \leq 0.8 \quad (F.6-64)$$

$$C_v = \frac{190}{(h/t)} \sqrt{\frac{k_v}{F_y}} \text{ cuando } C_v > 0.8 \quad (\text{F.6-65})$$

$$k_v = 4.00 + \frac{5.34}{(a/h)^2} \text{ cuando } \frac{a}{h} \leq 1.0 \quad (\text{F.6-66})$$

$$k_v = 5.34 + \frac{4.00}{(a/h)^2} \text{ cuando } \frac{a}{h} > 1.0 \quad (\text{F.6-67})$$

- a = distancia entre rigidizadores transversales
  - Y = relación entre el punto de fluencia del acero del alma y el punto de fluencia del acero del rigidizador
  - D = 1.0 para rigidizadores colocados en pares
  - D = 1.8 para rigidizadores de ángulo sencillo
  - D = 2.4 para rigidizadores de platina sencilla
- t y h son los definidos en F.6.2.1.2.

**F.6.2.6.3 - Rigidizadores que no cumplen estos requisitos** - La capacidad de carga admisible de miembros con rigidizadores transversales que no cumplen los requisitos de F.6.2.6.1 y F.6.2.6.2, tales como rigidizadores transversales laminados, debe determinarse por medio de ensayos realizados según se estipula en el Capítulo F.6.6 de estas normas.

## F.6.3 MIEMBROS

**F.6.3.1 - PROPIEDADES DE LAS SECCIONES** - Las propiedades de las secciones (área transversal, momento de inercia, módulo de sección, radio de giro, etc.) deben determinarse de acuerdo con los métodos convencionales de diseño estructural. Las propiedades deben basarse en la sección transversal completa de los miembros (o en la sección neta cuando el uso de la sección neta sea aplicable), excepto en donde se requiere el uso de la sección transversal reducida, o del ancho efectivo de diseño.

**F.6.3.2 - MIEMBROS A TENSION** - Para miembros cargados axialmente a tensión,  $\phi_t T_n$ , se debe determinar así:

$$\begin{aligned} \phi_t &= 0.95 \\ T_n &= A_n F_y \end{aligned} \quad (\text{F.6-68})$$

en donde:

- $T_n$  = resistencia nominal del miembro cuando se carga a tensión
- $\phi_t$  = coeficiente de resistencia para tensión
- $A_n$  = área neta de la sección transversal
- $F_y$  = esfuerzo de fluencia de diseño determinado conforme a F.6.1.5.2.1

### F.6.3.3 - MIEMBROS EN FLEXIÓN

**F.6.3.3.1 - Resistencia para flexión únicamente** - La resistencia de diseño a la flexión,  $\phi_b M_n$ , será el menor valor de los calculados de acuerdo con F.6.3.3.1.1, F.6.3.3.1.2 y F.6.3.3.1.3.

**F.6.3.3.1.1 - Resistencia nominal de la sección** - La resistencia de diseño a la flexión,  $\phi_b M_n$ , se determinará con  $\phi_b = 0.95$  para secciones con aletas a compresión rigidizadas o parcialmente rigidizadas y  $\phi_b = 0.90$  para secciones con aletas a compresión sin rigidizar; y con la resistencia nominal a flexión,  $M_n$ , calculada, bien sea con base en la iniciación de la fluencia en la sección efectiva (procedimiento I) o con base en la capacidad de reserva inelástica (Procedimiento II), según sea aplicable.

(a) **Procedimiento I** - Basado en la iniciación de la fluencia - El momento de fluencia efectivo basado en la resistencia de la sección,  $M_n$ , debe determinarse de la siguiente forma:

$$M_n = S_e F_y \quad (F.6-69)$$

en donde:

- $F_y$  = esfuerzo de fluencia de diseño según se determina en F.6 1 5 2.1  
 $S_e$  = módulo elástico de sección efectiva, calculado considerando la fibra extrema a tensión o a compresión sometida al esfuerzo  $F_y$ ,

(b) **Procedimiento II** - Basado en la capacidad de reserva inelástica - La capacidad de reserva inelástica de flexión puede usarse cuando se cumplen las siguientes condiciones

- (i) El miembro no está sujeto a momento torsor o a pandeo lateral, torsional o por flexotorsión.
- (ii) El efecto del formado en frío no se tiene en cuenta para la determinación del punto de fluencia  $F_y$ .
- (iii) La relación entre la altura de la zona a compresión del alma y su espesor no excede  $\lambda_1$ .
- (iv) La fuerza de cortante no excede  $0.35F_y$  veces el área del alma  $h \times t$ .
- (v) El ángulo entre cualquier alma y la vertical no excede  $30^\circ$

La resistencia nominal a flexión,  $M_n$ , no debe exceder  $1.25S_e F_y$ , determinado de acuerdo con el procedimiento I ni el momento que cause una deformación unitaria máxima de compresión igual a  $C_y e_y$  (no se estipula un límite para la deformación unitaria máxima en tensión)

en donde:

- $e_y$  = deformación unitaria a la fluencia =  $F_y/E$   
 $E$  = módulo de elasticidad  
 $C_y$  = factor de deformación unitaria a compresión, determinado así:

(a) Elementos en compresión rigidizados, sin rigidizadores intermedios,  $C_y = 3$  para  $w/t \leq \lambda_1$

$$C_y = 3 - 2 \left[ \frac{(w/t) - \lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} \right] \text{ para } \lambda_1 < \frac{w}{t} < \lambda_2$$

$$C_y = 1 \text{ para } \frac{w}{t} \geq \lambda_2$$

en donde

$$\lambda_1 = \frac{1.11}{\sqrt{F_y/E}} \quad (F.6-70)$$

$$\lambda_2 = \frac{1.28}{\sqrt{F_y/E}} \quad (F.6-71)$$

(b) Elementos en compresión no rigidizados  $C_y = 1$

(c) Elementos en compresión, multi-rigidizados y elementos en compresión con rigidizadores de borde  $C_y = 1$

Cuando sea aplicable, los anchos efectivos de diseño deben utilizarse para calcular las propiedades de sección  $M_n$  debe calcularse considerando equilibrio de esfuerzos, suponiendo una curva esfuerzo-deformación elastoplástica ideal, igual para tensión y compresión, además de la teoría de las deformaciones

pequeñas y teniendo en cuenta que las secciones planas permanecen planas durante la flexión. La flexión combinada con el arrugamiento del alma debe verificarse de acuerdo con lo estipulado en F.6.3.3.5.

**F.6.3.3.1.2 - Resistencia al pandeo lateral** - La resistencia de diseño de los segmentos no arriostrados lateralmente, de secciones con simetría sencilla o doble y secciones simétricas con respecto a un punto<sup>(5)</sup> sujetas a pandeo lateral,  $\phi_b M_n$ , se determinará con  $\phi_b=0.90$  y  $M_n$  calculado así:

$$M_n = S_c \left( \frac{M_c}{S_f} \right) \quad (\text{F.6-72})$$

en donde:

- $S_f$  = módulo elástico de la sección completa sin reducir para la fibra extrema en compresión.
- $S_c$  = módulo elástico de la sección efectiva calculada con base en un esfuerzo  $M_f/S_f$  en la fibra extrema en compresión.
- $M_c$  = momento crítico calculado de acuerdo con (a) o (b), según se indica a continuación:

(a) Para secciones de simetría sencilla o doble y simetría con respecto a un punto:

Para  $M_c > 0.5M_y$ ,

$$M_c = M_y \left[ 1 - \left( \frac{M_y}{4M_c} \right) \right] \quad (\text{F.6-73})$$

Para  $M_c \leq 0.5M_y$ ,

$$M_c = M_c \quad (\text{F.6-74})$$

en donde:

- $M_y$  = momento que causa la fluencia inicial en la fibra extrema a compresión de la sección completa  
=  $S_f F_y$  (F.6-75)

- $M_c$  = momento elástico crítico calculado con las siguientes ecuaciones:  
=  $C_b r_o A \sqrt{\sigma_{ey} \sigma_t}$  (F.6-76)

Para flexión con respecto al eje de simetría. Para secciones con simetría sencilla el eje x es el eje de simetría orientado en tal forma que el centro de cortante tiene una coordenada x negativa.

Alternativamente,  $M_c$  puede calcularse usando la fórmula para secciones en I doblemente simétricas o para secciones simétricas con respecto a un punto dada en (b) más adelante.

$$= C_s A \sigma_{ex} \frac{\left[ j + C_s \sqrt{j^2 + r_o^2} (\sigma_t / \sigma_{ex}) \right]}{C_{TF}} \quad (\text{F.6-77})$$

para flexión con respecto al eje centroidal perpendicular al eje de simetría, en secciones de simetría sencilla solamente.

- $C_s$  = +1 para momento que causa compresión en el lado del centro de cortante del centroide
- $C_s$  = -1 para momento que causa tensión en el lado del centro de cortante del centroide

(5) Esta sección se aplica a miembros en flexión de sección I, Z, C u otra sección de simetría sencilla (sin incluir tableros de varias almas, miembros en U o en cajón cerrado, y miembros curvos o de arco). Esta sección no se aplica a aletas en compresión no arriostradas lateralmente de secciones por lo demás lateralmente estables. Refiérase a F.6.3.3.1.3 para correas en C o en Z en los cuales la aleta en tensión está conectada al tablero.



$$\sigma_{cx} = \frac{\pi^2 E}{(K_x L_x / r_x)^2} \quad (\text{F.6-78})$$

$$\sigma_{cy} = \frac{\pi^2 E}{(K_y L_y / r_y)^2} \quad (\text{F.6-79})$$

$$\sigma_t = \frac{1}{A r_o^2} \left[ GJ + \frac{\pi^2 E C_w}{(K_t L_t)^2} \right] \quad (\text{F.6-80})$$

A = área de la sección transversal completa

C<sub>b</sub> = coeficiente de flexión, que puede tomarse conservadoramente igual a la unidad, o calcularse como:

$$C_b = 1.75 + 1.05 \left( \frac{M_1}{M_2} \right) + 0.3 \left( \frac{M_1}{M_2} \right)^2 \leq 2.3$$

donde M<sub>1</sub> es el menor y M<sub>2</sub> es el mayor momento flector en los extremos de la longitud no arriostrada, tomados con respecto al eje mayor del miembro, y donde M<sub>1</sub>/M<sub>2</sub>, la relación entre momentos extremos, es positiva cuando M<sub>1</sub> y M<sub>2</sub> tienen el mismo signo (flexión en curvatura doble) y negativa cuando son de signo opuesto (flexión en curvatura sencilla).

Cuando el momento flector en cualquier punto dentro de la longitud no arriostrada es mayor que cualquiera de los momentos en los extremos de esta longitud, y para miembros sujetos a carga axial y momento flector combinados (F.6.3.5), C<sub>b</sub> debe tomarse igual a la unidad.

$$C_{TF} = 0.6 - 0.4 \left( \frac{M_1}{M_2} \right)$$

donde M<sub>1</sub> es el menor y M<sub>2</sub> es el mayor momento flector en los extremos de la longitud no arriostrada, y donde M<sub>1</sub>/M<sub>2</sub>, la relación de momentos en los extremos, es positiva cuando M<sub>1</sub> y M<sub>2</sub> tienen el mismo signo (flexión en curvatura doble) y negativa cuando son de signo opuesto (flexión en curvatura sencilla). Cuando el momento flector en cualquier punto dentro de la longitud no arriostrada es mayor que cualquiera de los momentos en los extremos de esta longitud, y para miembros sujetos a carga axial y momento flector combinados (F.6.3.5), C<sub>TF</sub> debe tomarse igual a la unidad.

r<sub>o</sub> = radio de giro polar de la sección transversal con respecto al centro de cortante

$$= \sqrt{r_x^2 + r_y^2 + x_o^2} \quad (\text{F.6-81})$$

r<sub>x</sub>, r<sub>y</sub> = radios de giro de la sección transversal con respecto a los ejes centroidales principales

E = módulo de elasticidad

G = módulo de cortante

K<sub>x</sub>, K<sub>y</sub>, K<sub>t</sub> = coeficientes de longitud efectiva para flexión con respecto a los ejes x e y, y para torsión

L<sub>x</sub>, L<sub>y</sub>, L<sub>t</sub> = longitudes no arriostradas del miembro en compresión para flexión con respecto a los ejes x e y, y para torsión

x<sub>o</sub> = distancia del centro de cortante al centroide a lo largo del eje principal x, considerada negativa

J = constante de torsión de St. Venant de la sección transversal

C<sub>w</sub> = constante de alabeo torsional de la sección transversal

$$j = \frac{1}{2I_y} \left[ \int_A x^3 dA + \int_A x y^2 dA \right] - x_0 \quad (\text{F.6-82})$$

(b) Para secciones I o Z flexionadas con respecto al eje centroidal perpendicular al alma (eje x):

En lugar de (a), se deben usar las siguientes ecuaciones para el cálculo de  $M_c$ :

Para  $M_e > 2.78M_y$

$$M_c = M_y \quad (\text{F.6-83})$$

Para  $2.78M_y > M_e > 0.56M_y$

$$M_c = \frac{10}{9} M_y \left[ 1 - \frac{10M_y}{36M_e} \right] \quad (\text{F.6-84})$$

Para  $M_e \leq 0.56M_y$

$$M_c = M_e \quad (\text{F.6-85})$$

en donde:

$M_e$  = momento crítico elástico determinado según lo definido en (a) o como sigue.

$$= \frac{\pi^2 E C_b d I_{yc}}{L^2} \text{ para secciones I doblemente simétricas} \quad (\text{F.6-86})$$

$$= \frac{\pi^2 E C_b d I_{yc}}{2L^2} \text{ para secciones Z con simetría de punto} \quad (\text{F.6-87})$$

$d$  = altura de la sección

$L$  = longitud no arriostrada del miembro

$I_{yc}$  = momento de inercia de la zona en compresión de una sección con respecto al eje de gravedad de la sección completa paralela al alma, usando la sección completa no reducida

Los otros términos se definieron en (a).

**F.6.3.3.1.3 - Vigas con una aleta completamente sujeta a tableros o a tabiques de cerramiento** - Esta sección no es aplicable a la región entre puntos de inflexión adyacentes a un apoyo en vigas continuas, ni para vigas en voladizo.

La resistencia de diseño a flexión,  $\phi_b M_n$ , de una sección C o Z cargada en un plano paralelo al alma, con la aleta a tensión conectada a tableros o tabiques y con la aleta a compresión sin arriostramiento lateral, se determinará con  $\phi_b=0.90$  y calculando la resistencia nominal a flexión,  $M_n$ , así:

$$M_n = R S_e F_y \quad (\text{F.6-88})$$

en donde

$R = 0.40$  para secciones C en luces simples

$R = 0.50$  para secciones Z en luces simples

$R = 0.60$  para secciones C en luces continuas

$R = 0.70$  para secciones Z en luces continuas

$S_e$  y  $F_y$  se definen en F.6.3.3.1.1.

El coeficiente de reducción,  $R$ , está limitado a sistemas de techo o pared que cumplan las siguientes condiciones:

- La altura del elemento debe ser menor que 292 mm (11.5 pulgadas)
- Las aletas son elementos a compresión con bordes rigidizados
- $60 \leq \text{altura/espesor} \leq 170$
- $2.8 \leq \text{altura/ancho de la aleta} \leq 4.5$
- $16 \leq \text{ancho plano/espesor de la aleta} \leq 43$
- Para sistemas de luces continuas, la longitud de traslape en los apoyos interiores en cada dirección (distancia desde el centro del apoyo al final del traslape), no debe ser menor que:  
1.5d para secciones Z  
3.0 d para secciones canal
- La luz del miembro no debe ser mayor que 10 m
- Para sistemas de luces continuas, la mayor luz de un miembro no debe exceder en más del 20% a la menor luz.
- El movimiento lateral de ambas aletas en los apoyos debe estar impedido.
- Los paneles de techo o pared deben ser láminas de acero, con un recubrimiento mínimo de 0.05 mm de espesor, con una altura mínima de las ondulaciones de 25 mm, espaciadas máximo a 305 mm entre centros y conectada de tal manera que se evite en forma eficiente el movimiento relativo entre el panel y la aleta de la correa.
- El aislamiento debe ser una cubierta de fibra de vidrio de 0 a 152 mm de espesor localizada entre el miembro y el panel de una manera compatible con el sujetador usado.
- Tipo de sujetador: mínimo tornillos de lámina de metal No.12 autorroscante o autorremachante o remaches de 4.8 mm y arandelas de 12.7 mm de diámetro
- Los sujetadores no deben ser tornillos de tipo no estructural
- La distancia entre sujetadores no debe ser mayor que 305 mm centro a centro y éstos deben estar localizados cerca del centro de la aleta de la viga.

Si alguna de las variables se sale de los límites acá establecidos arriba, el diseñador debe realizar ensayos a escala natural de acuerdo con F.6.6.1 de esta especificación, o diseñar usando un método racional de análisis. En cualquier caso, se permite realizar ensayos de acuerdo con F.6.6.1, como procedimiento alternativo al descrito en esta sección.

**F.6.3.3.2 - Resistencia al cortante únicamente** - La resistencia de diseño a cortante de cualquier sección,  $\phi V_n$ , se calculará así:

$$(a) \text{ Para } \frac{h}{t} \leq \sqrt{\frac{Ek_v}{F_y}}$$

$$\phi_v = 1.0$$

$$V_n = 0.577 F_y h t \quad (F.6-89)$$

$$(b) \text{ Para } \sqrt{\frac{Ek_v}{F_y}} < \frac{h}{t} \leq 1.415 \sqrt{\frac{Ek_v}{F_y}}$$

$$\phi_v = 0.90$$

$$V_n = 0.64 t^2 \sqrt{k_v F_y E} \quad (F.6-90)$$

$$(c) \text{ Para } \frac{h}{t} > 1.415 \sqrt{\frac{Ek_v}{F_y}}$$

$$\phi_v = 0.90$$

$$V_n = \frac{0.905 E k_v t^3}{h} \quad (\text{F.6-91})$$

en donde:

- $\phi_v$  = coeficiente de resistencia para cortante
- $V_n$  = resistencia nominal a cortante de la viga
- $t$  = espesor del alma
- $h$  = altura de la porción plana del alma medida en su plano
- $k_v$  = coeficiente de pandeo por cortante determinado así:

(i) Para almas no reforzadas,  $k_v=5.34$

(ii) Para almas de vigas con rigidizadores transversales que satisfacen los requisitos de F 6 2.6.

$$\text{cuando } \frac{a}{h} \leq 1.0, k_v = 4.00 + \left( \frac{5.34}{(a/h)^2} \right) \quad (\text{F.6-92})$$

$$\text{cuando } \frac{a}{h} > 1.0, k_v = 5.34 + \left( \frac{4.00}{(a/h)^2} \right) \quad (\text{F.6-93})$$

en donde

- $a$  = longitud del panel a cortante para el elemento de alma no reforzado
- = distancia entre rigidizadores transversales para elementos del alma

Cuando el alma consta de dos o más láminas, cada lámina debe considerarse como un miembro separado que soporta su parte correspondiente de cortante.

**F.6.3.3.3 - Resistencia a flexión y cortante combinados** - Para vigas con almas no reforzadas, la resistencia requerida a flexión,  $M_u$ , y la resistencia requerida a cortante,  $V_u$ , deben satisfacer la siguiente ecuación de interacción.

$$\left( \frac{M_u}{\phi M_{nx0}} \right)^2 + \left( \frac{V_u}{\phi_v V_n} \right)^2 \leq 1.0 \quad (\text{F.6-94})$$

Para vigas con rigidizadores de alma transversales, la resistencia requerida a flexión,  $M_u$ , y la resistencia requerida a cortante,  $V_u$ , no deben exceder  $\phi_b M_n$  y  $\phi_v V_n$ , respectivamente. Cuando  $[M_u / \phi_b M_{nx0}] > 0.5$  y  $[V_u / \phi_v V_n] > 0.7$ ,  $M_u$  y  $V_u$  deben satisfacer la siguiente ecuación de interacción:

$$\left[ 0.6 \frac{M_u}{\phi_b M_{nx0}} \right] + \left[ \frac{V_u}{\phi_v V_n} \right] \leq 1.3 \quad (\text{F.6-95})$$

En las ecuaciones anteriores

- $\phi_b$  = coeficiente de resistencia para flexión (véase F.6 3 3 1)
- $\phi_v$  = coeficiente de resistencia a cortante (véase F 6 3 3 2)
- $M_n$  = resistencia nominal a flexión cuando solamente existe flexión
- $M_{nx0}$  = resistencia nominal a flexión con respecto a los ejes centroidales determinada de acuerdo con F 6 3 3 1, excluyendo lo estipulado en F.6 3 3 1.2
- $V_n$  = resistencia nominal a cortante cuando solamente existe corte

**F.6.3.3.4 - Resistencia al arrugamiento del alma** - Estos requisitos son aplicables a almas de miembros en flexión o a los componentes pertinentes sujetos a cargas concentradas o reacciones, que actúan

perpendicularmente al eje longitudinal del miembro, en el plano del alma en consideración y que causan esfuerzos de compresión en el alma.

Para evitar el arrugamiento de almas planas no reforzadas de miembros en flexión que tienen una relación,  $h/t$  igual o menor a 200, la resistencia requerida a flexión para las cargas concentradas y las reacciones no deben exceder los valores de  $\phi_w P_n$ , con  $\phi_w=0.75$  para almas simples sin reforzar y  $\phi_w=0.80$  para secciones en I, y con el  $P_n$  dado en la tabla F.6-2. Las almas de miembros en flexión para las cuales la relación  $h/t$  es mayor a 200 deben tener medios adecuados para transmitir las cargas concentradas y las reacciones directamente a las almas.

Las fórmulas de la tabla F.6-2 se aplican a vigas con  $R/t \leq 6$  y a tableros con  $R/t \leq 7$ ,  $N/t \leq 210$  y  $N/h \leq 3.5$

$P_n$  = representa la resistencia nominal a carga concentrada o a reacción de un alma maciza que conecta las aletas superior e inferior. Para dos o más almas,  $P_n$  se calculará para cada alma individual y los resultados se sumarán para obtener las cargas o reacciones nominales para el alma múltiple.

En secciones armadas en I, o similares, la distancia entre el conector del alma y la aleta de la viga debe mantenerse tan pequeña como sea práctico

Tabla F.6-2  
 $P_n$

		Perfiles de alma sencilla		Secciones en I o similares <sup>(1)</sup>
		Aletas rigidizadas o parcialmente rigidizadas	Aletas no rigidizadas	Aletas parcialmente rigidizadas y no rigidizadas
Cargas separación > 1.5h (2)	Reacción extrema (3)	F 6-96	F 6-97	F.6-98
	Reacción interior (4)	F.6-99	F.6-99	F.6-100
Cargas opuestas separación ≤ 1.5h (5)	Reacción extrema (3)	F 6-101	F 6-101	F 6-102
	Reacción interior (4)	F 6-103	F 6-103	F.6-104

Notas:

- (1) Secciones I formadas por dos canales conectadas por sus almas, o secciones similares que tienen un alto grado de restricción contra la rotación del alma (tales como secciones en I hechas soldando dos ángulos a una canal)
- (2) En los sitios de una carga concentrada o reacción que actúa bien en la aleta superior o en la aleta inferior, cuando la distancia libre entre los bordes de apoyo de ésta y de cargas concentradas opuestas o reacciones, es mayor que 1.5h
- (3) Para reacciones extremas de vigas o cargas concentradas en el extremo de voladizos cuando la distancia del borde del apoyo al extremo de la viga es menor que 1.5h
- (4) Para reacciones y cargas concentradas cuando la distancia del borde del apoyo al extremo de la viga es igual o mayor que 1.5h
- (5) En los sitios de dos cargas concentradas opuestas o de una carga concentrada y una reacción opuesta que actúan simultáneamente en las aletas superior e inferior, cuando la distancia libre entre sus bordes de apoyo adyacentes es igual o menor que 1.5h

Ecuaciones:

$$\frac{t^2 k C_3 C_4 C_0}{1420} \left[ 331 - 0.61 \left( \frac{h}{t} \right) \right] \left[ 1 + 0.01 \left( \frac{N}{t} \right) \right] \quad (F.6-96)$$

$$\frac{t^2 k C_3 C_4 C_0}{1420} \left[ 217 - 0.28 \left( \frac{h}{t} \right) \right] \left[ 1 + 0.01 \left( \frac{N}{t} \right) \right] \quad (F.6-97)$$

Cuando  $N/t > 60$ , el factor  $[1 + 0.01(N/t)]$  puede incrementarse a

$$\left[ 0.71 + 0.015 \left( \frac{N}{t} \right) \right] t^2 F_y C_6 \left( 10 + 1.25 \sqrt{\frac{N}{t}} \right) \quad (\text{F.6-98})$$

$$\frac{t^2 k C_1 C_2 C_\theta}{1420} \left[ 538 - 0.74 \left( \frac{h}{t} \right) \right] \left[ 1 + 0.007 \left( \frac{N}{t} \right) \right] \quad (\text{F.6-99})$$

Cuando  $N/t > 60$  el factor  $[1 + 0.007(N/t)]$  puede incrementarse a

$$\left[ 0.75 + 0.011 \left( \frac{N}{t} \right) \right] t^2 F_y C_5 (0.88 + 0.12m) \left( 15 + 3.25 \sqrt{\frac{N}{t}} \right) \quad (\text{F.6-100})$$

$$\frac{t^2 k C_3 C_4 C_\theta}{1420} \left[ 244 - 0.57 \left( \frac{h}{t} \right) \right] \left[ 1 + 0.01 \left( \frac{N}{t} \right) \right] \quad (\text{F.6-101})$$

$$t^2 F_y C_8 (0.64 + 0.31m) \left( 10 + 1.25 \sqrt{\frac{N}{t}} \right) \quad (\text{F.6-102})$$

$$\frac{t^2 k C_1 C_2 C_\theta}{1420} \left[ 771 - 2.26 \left( \frac{h}{t} \right) \right] \left[ 1 + 0.0013 \left( \frac{N}{t} \right) \right] \quad (\text{F.6-103})$$

$$t^2 F_y C_7 (0.82 + 0.15m) \left( 15 + 3.25 \sqrt{\frac{N}{t}} \right) \quad (\text{F.6-104})$$

En las fórmulas anteriores

$\phi_w$  = coeficiente de resistencia para arrugamiento del alma

$P_n$  = resistencia nominal para carga concentrada o reacción resistente por alma, kgf

$C_1$  = (1.22-0.22k) (F.6-105)

$C_2$  = (1.06-0.06R/t) ≤ 1.0 (F.6-106)

$C_3$  = (1.33-0.33k) (F.6-107)

$C_4$  = (1.15-0.15R/t) ≤ 1.0 pero no inferior a 0.5 (F.6-108)

$C_5$  = (1.49-0.53k) ≥ 0.6 (F.6-109)

$C_6$  =  $1 + (h/t)/750$  cuando  $h/t \leq 150$  (F.6-110)

= 1.20 cuando  $h/t > 150$  (F.6-111)

$C_7$  =  $1/k$  cuando  $h/t \leq 66.5$  (F.6-112)

=  $[1.10 - (h/t)/665]/k$  cuando  $h/t > 66.5$  (F.6-113)

$C_8$  =  $(0.98 - (h/t)/865)/k$  (F.6-114)

$C_\theta$  =  $0.7 + 0.3(\theta/90)^2$  (F.6-115)

$F_y$  = esfuerzo de fluencia de diseño del alma (kgf/mm<sup>2</sup>), véase F.6 1 5 2.1

$h$  = altura de la porción plana del alma medida a lo largo de su plano

$k$  =  $F_y/23.2$  (F.6-116)

$m$  =  $t/1.905$  (F.6-117)

$t$  = espesor del alma, mm

$N$  = longitud real del apoyo. Para el caso de dos cargas concentradas y opuestas distribuidas en longitudes de apoyo desiguales, se debe tomar como  $N$  el menor valor.

$R$  = radio interno del doblé

$\theta$  = ángulo entre el plano del alma y el plano de la superficie de apoyo ≥ 45°, pero no mayor a 90°

**F.6.3.3.5 - Resistencia a la flexión y al arrugamiento del alma combinados** - Las almas planas no reforzadas de perfiles, sujetas a una combinación de flexión y reacción o carga concentradas, se diseñarán para que cumplan los siguientes requisitos.

(a) Para perfiles con almas sencillas no reforzadas:

$$1.07 \left( \frac{P_u}{\phi_w P_n} \right) + \left( \frac{M_u}{\phi_b M_{nx0}} \right) \leq 1.42 \quad (\text{F.6-118})$$

**Excepción** En los apoyos interiores de vigas continuas, la fórmula anterior no se aplica a tableros o vigas con dos o más almas sencillas siempre que los bordes en compresión de almas adyacentes estén soportados lateralmente en la región de momento negativo por elementos de aleta conectados en forma continua o intermitente, o por revestimientos rígidos o arriostamiento lateral, y el espaciamiento entre almas adyacentes no exceda 254 mm.

(b) Para perfiles que tengan almas múltiples no reforzadas como por ejemplo vigas I hechas de dos canales conectados espalda contra espalda o secciones similares que tengan un alto grado de restricción a la rotación del alma (tales como vigas I hechas soldando dos ángulos a una canal);

$$0.82 \left( \frac{P_u}{\phi_w P_n} \right) + \left( \frac{M_u}{\phi_b M_{nx0}} \right) \leq 1.32 \quad (\text{F.6-119})$$

**Excepción:** Cuando  $(h/t) \leq (2.33/\sqrt{F_y/E})$  y  $\lambda \leq 0.673$ , la resistencia nominal a reacción o carga concentrada puede determinarse de acuerdo con F 6 3 3 4

En las fórmulas anteriores:

- $\phi_b$  = coeficiente de resistencia a la flexión (véase F.6.3.3.1)
- $\phi_w$  = coeficiente de resistencia al arrugamiento del alma (véase F.6.3.3.4)
- $P_u$  = resistencia requerida para carga concentrada o reacción en presencia de momento flector
- $P_n$  = resistencia nominal para carga concentrada o reacción en ausencia de momento flector, determinada de acuerdo con lo estipulado en F.6.3.3.4
- $M_u$  = resistencia a flexión requerida en, o inmediatamente adyacente al punto de aplicación de la carga concentrada o reacción  $P_u$
- $M_{nx0}$  = resistencia nominal a flexión con respecto a los ejes centroidales, determinada de acuerdo con F 6.3.3.1, excluyendo lo estipulado en F.6 3 3.1.2
- $w$  = ancho plano de la aleta de la viga que está en contacto con la platina de apoyo
- $t$  = espesor del alma o de la aleta
- $\lambda$  = coeficiente de esbeltez dado en F 6 2 2 1

**F.6.3.4 - MIEMBROS EN COMPRESIÓN CARGADOS CONCÉNTRICAMENTE** - Esta sección se aplica a miembros en los cuales la resultante de todas las cargas actuantes es una carga axial que pasa a través del centroide de la sección efectiva, calculada con el esfuerzo  $F_n$  definido en esta sección.

(a) La resistencia de diseño axial,  $\phi_c P_n$ , se calculará así:

$$\phi_c = 0.85$$

$$P_n = A_e F_n \quad (\text{F.6-120})$$

en donde,

- $A_e$  = área efectiva al esfuerzo  $F_n$ . Para secciones con huecos circulares,  $A_e$  debe determinarse de acuerdo con F 6.2.2 2 1 sujeta a las limitaciones de esa sección. Si el número de huecos en la región de la longitud efectiva multiplicado por el diámetro del hueco y dividido por la longitud efectiva no excede 0.015,  $A_e$  puede determinarse ignorando los huecos